

panded clay gravel reinforced with organic and inorganic fibers are presented. The waste of coal enrichment was burnt: burnt rocks, siltstones from the dumps, waste of the current outlet after flotation, wastes of the current

outlet after gravitation, mudstone from the dumps, coal shales.

Key words: expanded clay, technology, reinforcement, fibers, coal cleaning waste.

УДК 62-1.

Балера Н.Д., Гордиенко А.Т., Касай С.А.

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: balera_mikola@ukr.net)*

КОМПЛЕКС ДЛЯ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Описана конструкция пневмомеханического помольно-классификационного комплекса, обеспечивающего совмещение помола и классификации материала в рамках одного агрегата, соблюдая принцип стадийности обработки. Представлено математическое описание углов разброса частиц измельчаемого материала в центробежно-противоточной мельнице.

Ключевые слова: измельчение, классификация, помол, агрегат, мельница, стадийность обработки.

Одной из основных технологических операций в производстве большинства строительных материалов является переработка крупнозернистых материалов в тонкодисперсные порошки. Этим обусловлена актуальность разработки эффективных способов измельчения материалов.

Наиболее рациональный способ тонкого измельчения к настоящему времени — способ высокоскоростного ударного нагружения материалов [1-2].

Известно [3], что при увеличении степени измельчения резко падает производительность при одновременном возрастании энергозатрат и снижении надежности работы оборудования. Долговечность рабочих органов измельчителя часто является лимитирующим фактором при выборе типа мельницы. Для увеличения надежности работы измельчителей, с точки зрения износа, необходимо перейти от измельчения частиц о корпус или рабочие элементы к самоизмельчению частиц. Этого можно достичь, если процесс измельчения организовать на слое измельчаемого материала или использовать принцип противотока, когда частицы нагружаются при столкновении друг с другом в противоположных потоках. Нагружение зернистого материала при энергетически выгодном режиме в сочетании с выводом из зоны измельчения частиц, соответствующих товарной фракции, наиболее полно можно осуществить при

совмещении процессов измельчения и классификации в рамках одного агрегата, соблюдая принцип стадийности.

С этой целью нами разработан пневмомеханический помольно-классификационный комплекс, который включает две мельницы: центробежно-противоточную и мельницу дезинтеграторного типа. Центробежно-противоточная мельница содержит два цилиндрических корпуса 1, соединенных между собой тангенциальным каналом 2. В каждом корпусе имеется ротор 3, который состоит из вала 4 и диска 5, на котором закреплены разгонные лопатки 6, изогнутые в сторону вращения ротора. В тангенциальном канале 2 имеется выгрузочный патрубок 7, равноудаленный от оси вращения роторов и направленный в камеру помола мельницы дезинтеграторного типа 8, а также патрубок отвода 13 тонкодисперсного материала (рис. 1). Подача измельчаемых материалов в центробежно-противоточную мельницу осуществляется шнековыми питателями (на рисунке не показаны). Мельница дезинтеграторного типа содержит два ротора с концентрически расположенными рядами ударных элементов, вращающимися в противоположных направлениях. Для повышения эффективности помола и производительности мельницы дезинтеграторного типа в центральной части камеры помола на выходе из раз-

грузочного патрубка 7 наклонно установлены цилиндрические разбрасывающие патрубки 11. Для выгрузки крупной фракции корпус мельницы дезинтеграторного типа имеет тангенциальный патрубок 10 (рис. 2), соединенный посредством спирального патрубка 15 с конической частью разгрузочного патрубка 7, а для разгрузки готового продукта в корпусе расположен нормальный патрубок 14. Роторы мельницы дезинтеграторного типа (рис. 2) и центробежно-противоточной мельницы (рис. 3) приводятся во вращение от двух специальных электродвигателей.

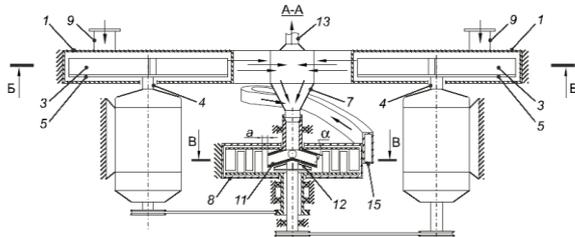


Рис. 1. Пневмомеханический помольно-классификационный комплекс.

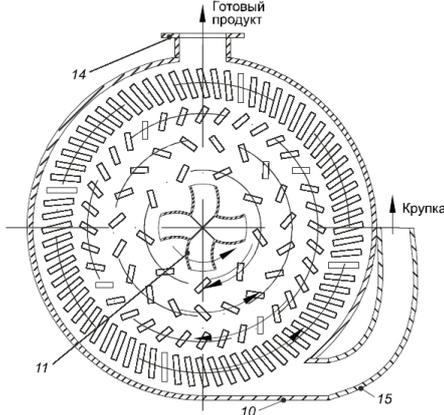


Рис. 2. Камера помола мельницы дезинтеграторного типа.

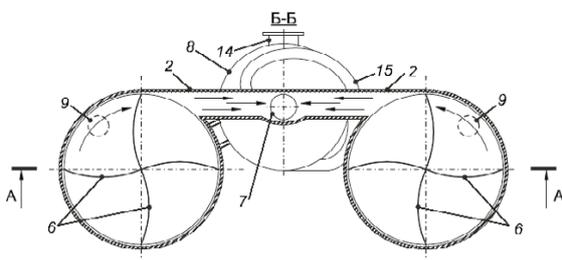


Рис. 3. Камера помола центробежно-противоточной мельницы.

Помольный комплекс работает следующим образом. Исходный материал подается в полые загрузочные патрубки 9

одновременно с одинаковой пропускной способностью и попадает на высокоскоростные диски 5 ($n = 12000 \text{ мин}^{-1}$) с разгонными лопатками 6

Ввиду того, что загрузочные патрубки 9 смещены относительно оси вращения ротора, измельчаемый материал в каждый промежуток времени попадает только на одну из разгонных лопаток 6. Частицы, попавшие на разгонные лопатки, изогнутые в сторону вращения ротора, накапливаются на них за счет центробежных сил и сил трения. Процесс накопления протекает до тех пор, пока измельчаемый материал не закроет определенным слоем рабочую поверхность разгонных лопаток. В зависимости от размера и свойств измельчаемого материала загрузочные патрубки 9 смещаются относительно оси вращения ротора 3 и тангенциального канала 2 так, чтобы частицы мельче готового продукта отбрасывались в зону разгрузочного патрубка 13, а грубые фракции непосредственно в тангенциальный канал 2, где частицы с обоих роторов разрушаются при совместном соударении друг с другом. В случае, если измельчаемый материал имеет большую дисперсность, увеличивается факел схода частиц с диска 5. Это обусловлено тем, что при выходе измельчаемого материала из загрузочного патрубка 9 поток частиц изменяет направление почти на 90° , поэтому происходит инерционная сепарация. Предварительно измельченные частицы под действием силы тяжести и воздушных потоков через выгрузочный патрубок 7 направляются в камеру помола мельницы дезинтеграторного типа, а тонкодисперсный материал отводится через патрубок 13 с помощью вытяжного вентилятора.

В центральной части камеры помола имеются разбрасывающие патрубки, увеличивающие пропускную способность первого внутреннего ряда ударных элементов. Разбрасывающие патрубки закреплены на верхнем горизонтальном диске под углом ос, который больше угла естественного откоса измельчаемого материала, при этом расстояние a между торцами разбрасывающих патрубков и ударными элементами

превышает максимальный размер измельчаемых частиц, а на нижнем горизонтальном диске под разбрасывающими патрубками жестко закреплены лопасти вентиляторного колеса 12, создающие вентиляционный эффект в мертвой зоне [4-5]. Пропускная способность узла загрузки и разгона мельницы дезинтеграторного типа равна пропускной способности двух загрузочных патрубков центробежно-противоточной мельницы [6-7].

Пройдя последовательно все ряды ударных элементов, грубая фракция материала направляется в тангенциальный загрузочный патрубок 10 на доизмельчение, а готовый по крупности продукт выгружается через нормальный патрубок 14.

Математическое описание углов разброса частиц измельчаемого материала в центробежно-противоточной мельнице. Рассмотрим движение частиц материала в центробежной противоточной части пневмомеханического комплекса. Вначале рассмотрим высокоскоростные диски 5 с прямолинейными разгонными лопатками 6. Высота разгонных лопаток 6, обеспечивающих высокоскоростное движение материала в тангенциальном канале 2, определяется следующим образом.

Путь, пройденный материалом после отрыва от вертикального загрузочного патрубка 9, определяется по формуле

$$Z = \frac{gt^2}{2}. \quad (1)$$

Угол, на который повернется разгонная лопатка 6 за время t при частоте вращения ротора ω , определяется из выражения, связывающего частоту вращения ω и время t : $\varphi = \omega t$. (2)

Выражая из (2) время t и подставляя его в (1), находим

$$Z = \frac{g\varphi^2}{2\omega^2}.$$

Выражение (3) определяет путь, пройденный материалом после отрыва от вертикального загрузочного патрубка в зависимости от поворота разгонной лопатки ротора на произвольный угол φ . В частности, если угол поворота $\varphi = \pi / 2$, то, согласно (3),

$$Z = \frac{\pi\varphi^2}{2\omega^2}.$$

Для встречи материала с рабочей поверхностью разгонной лопатки, имеющей вдоль оси z размер h , нужно, чтобы высота лопатки удовлетворяла условию

$$h > \frac{\pi\varphi^2}{2\omega^2}.$$

Для определения углового размера разгонного узла центробежно-но-противоточной мельницы в случае, когда лопатки роторов развернуты относительно радиального направления на некоторый угол β_0 , воспользуемся расчетной схемой (рис. 4).

Точка O — центр, относительно которого происходит вращение лопаток, точка B определяет место встречи частиц материала с лопаткой ротора, длина отрезка AC равна линейному размеру лопатки L .

Если через d_0 обозначить проекцию внутреннего диаметра вертикального загрузочного патрубка на рабочую поверхность лопатки ротора, тогда, согласно расчетной схеме (см. рис. 4), время t_1 , необходимое частицам материала для прохождения пути BC при его движении из точки B , запишется как

$$t_1 = \frac{AC - AB}{v(\rho_1)} = \frac{L - d_0}{v(\rho_1)}. \quad (6)$$

На основании результатов работы [4], частицы материала из точки B будут двигаться с постоянной скоростью

$$v(\rho_1) = \omega\rho_1 \frac{\cos\beta_1 - \mu\sin\beta_1}{2\mu}, \quad (7)$$

где ω — частота вращения (c^{-1}); μ — коэффициент трения материала по поверхности разгонной лопатки; β_1 — угол, образованный направлением (OB) с разгонной лопаткой; ρ_1 — расстояние от оси вращения до точки B , которое задается отношением:

$$\rho_1 = \rho_0 \sqrt{1 + \frac{2d_0}{\rho_0} \cos\beta_0 + \left(\frac{d_0}{\rho_0}\right)^2}. \quad (8)$$

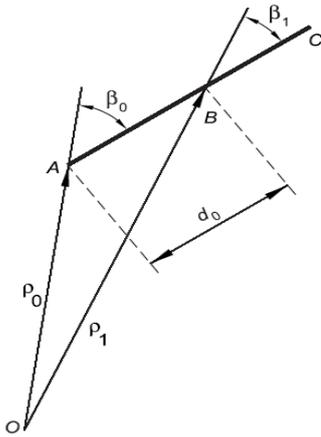


Рис. 4. Расчетная схема к определению углового размера разгонного узла.

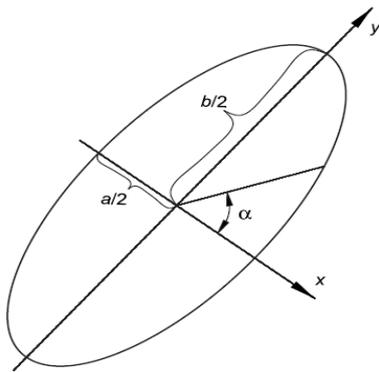


Рис. 5. Схема к расчету длины разгонной лопатки в виде дуги эллипса.

Аналогично находим время, необходимое для прохождения частицами материала пути из точки A до точки C (длиной L):

$$t_2 = \frac{L}{v(\rho_0)}, \quad (9)$$

где величина скорости $v(\rho_0)$ определяется из соотношения

$$v(\rho_0) = \omega \rho_0 \frac{\cos\beta_0 - \mu \sin\beta_0}{2\mu}. \quad (10)$$

Тогда промежуток времени между сходом с разгонной лопатки начальной порции материала и конечной будет определяться соотношением

$$\begin{aligned} \Delta t = t_2 - t_1 &= \frac{L}{v(\rho_0)} - \frac{L-d_0}{v(\rho_1)} = \\ &= L \left(\frac{1}{v(\rho_0)} - \frac{1}{v(\rho_1)} \right) + \frac{d_0}{v(\rho_1)} \end{aligned} \quad (11)$$

С другой стороны, этот промежуток можно определить через угол поворота φ и частоту вращения ω ротора:

$$\Delta t = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\omega}. \quad (12)$$

На основании (11) и (12) находим, что

$$\Delta\varphi = \frac{2\mu}{\rho_0} (L_* + d_*), \quad (13)$$

Где введены следующие обозначения:

$$L_* = L \left[\frac{1}{\cos\beta_0 - \mu \sin\beta_0} - \frac{1}{(\cos\beta_1 - \mu \sin\beta_1) \sqrt{1 + \frac{2d_0}{\rho_0} \cos\beta_0 + \left(\frac{d_0}{\rho_0}\right)^2}} \right]; \quad (14)$$

$$d_* = \frac{d_0}{(\cos\beta_1 - \mu \sin\beta_1) \sqrt{1 + 2\frac{d_0}{\rho_0} \cos\beta_0 + \left(\frac{d_0}{\rho_0}\right)^2}}. \quad (15)$$

Формулы (14), (15) можно упростить, если сделать ряд следующих предположений.

1. Отношение d_0/ρ_0 является малой величиной, тогда с точностью до величин первого порядка малости находим:

$$L_* \cong L \left[\frac{1}{\cos\beta_0 - \mu \sin\beta_0} - \frac{1 - \frac{d_0}{\rho_0} \cos\beta_0}{\cos\beta_1 - \mu \sin\beta_1} \right]; \quad (16)$$

$$d_* \cong \frac{d_0 \left(1 - \frac{d_0}{\rho_0} \cos\beta_0 \right)}{\cos\beta_1 - \mu \sin\beta_1}. \quad (17)$$

2. При радиальном расположении разгонной лопатки ротора $\beta_0 = \beta_1 = 0$, тогда (16), (17) примут следующий вид:

$$L_* = L \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{d_0}{\rho_0} \right)} \right] = \frac{Ld_0}{\rho_0 + d_0}; \quad (18)$$

$$d_* = \frac{d_0}{1 + \frac{d_0}{\rho_0}} = \frac{d_0 \rho_0}{\rho_0 + d_0}, \quad (19)$$

а соотношения (16), (17) в этом случае можно представить в следующем виде:

$$L_* \cong \frac{Ld_0}{\rho_0}; \quad (20)$$

$$d_* = d_0 \left(1 - \frac{d_0}{\rho_0} \right). \quad (21)$$

Если разгонная лопатка б, обеспечивающая высокоскоростное движение материала в тангенциальном канале 2, выполнена в форме дуги эллипса (рис. 5), то

длина разгонной лопатки определяется из выражения:

$$L = \int \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (22)$$

где $x = \rho \cos \varphi$, $y = \rho \sin \varphi$.

Если предположить, что между конструктивными параметрами существует следующая связь: $b > a$, следовательно:

$\frac{a}{b} < 1$, тогда $\varepsilon^2 = 1 - \frac{a^2}{b^2} > 0$, и длина разгонной лопатки в виде дуги эллипса принимает окончательный вид

$$L = 2a \int_0^{\alpha} \sqrt{\frac{1 - 2\varepsilon^2(1 - 2\varepsilon^2)\sin^2\varphi - 3\varepsilon^4\sin^4\varphi}{(1 - \varepsilon^2\sin^2\varphi)^3}} d\varphi, \quad (23)$$

ЛИТЕРАТУРА:

1. Белов Н. Н. Динамика высокоскоростного удара и сопутствующие физические явления / Н. Н. Белов, Н. Т. Югов, Д. Г. Копаница, А. А. Югов. – Томск: STT, 2005. – 356 с.
2. Теоретические и экспериментальные исследования высокоскоростного взаимодействия тел. // Под ред. А. В. Герасимова. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007. – 572 с.
3. Дезинтеграторы (конструкции, расчет): монография / В. С. Богданов, И. А. Семикопенко, В. П. Воронов, Н. Д. Балера - Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. - 188 с
4. Богданов В.С. Процессы помола и классификации в производстве цемента / В.С. Богданов, А.С. Ильин, Н.П. Несмеянов. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 199 с

5. Богданов В.С. Процессы в производстве строительных материалов и изделий: Учебник. / В.С. Богданов, А.С. Ильин, И.А. Семикопенко. – Белгород: Везелица, 2007. – 512 с.
6. Семикопенко И.А. Дезинтеграторы с эксцентричным расположением рядов рабочих элементов: дисс. канд. техн. наук по специальности: 05.02.13. – Белгород: БелГТАСМ, 1998. – 140 с
7. Rose H.E., Sullivan R.M. Vibration Mills and Vibrating Milling – London: 1961. – 195 s

Балера М.Д., Гордієнко А.Т., Касай С.О. КОМПЛЕКС ДЛЯ ТОНКОГО ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ. Описана конструкція пневмомеханічного помольно-класифікаційного комплексу, що забезпечує поєднання помелу та класифікації матеріалу в рамках одного агрегату, дотримуючись принципу стадійності обробки. Представлено математичний опис кутів розкиду часток матеріалу, що подрібнюється в цен-тробежно-протivotочної млині. **Ключові слова:** подрібнення, класифікація, помел, агрегат, млин, стадійність обробки.

Balera N.D., Gordienko A.T., Kasai S.A. COMPLEX FOR THIN FILM MATERIALS. The design of a pneumomechanical grinding and classification complex is described that provides for combining the grinding and classifying the material within a single unit, observing the principle of stage-by-stage processing. A mathematical description of the angles of scatter of the particles of the material to be ground in a centrifugal-countercurrent mill is presented. **Keywords:** grinding, classification, grinding, aggregate, mill, stage processing.

УДК 691.5; 693.542.4

Павлюк В.В., Бондаренко О.П, Комлик В.І.

*Київський національний університет будівництва і архітектури
(Повітрофлотський проспект, 31, Київ, 03680, Україна; e-mail: Tbkvm174@meta.ua)*

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ КОМПОЗИЦІЙНІ ЦЕМЕНТИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБІТ В ЗИМОВИХ УМОВАХ

Встановлено можливість підвищення тепловиділення композиційного в'язучого з вмістом золи-винесення не менше 50%, модифікованого меленим негашеним вапном. Визначено оптимальний вміст меленого негашеного вапна у складі енергоефективного композиційного цементу за критеріями максимального тепловиділення та міцності.

Ключові слова: енергоефективність, композиційні цементы, вапно, зола-винесення, тепловиділення, міцність.

У зв'язку з підвищенням вартості енергоресурсів в Україні актуальним є застосування енергозберігаючих технологій в різних сферах промисловості, зокрема і в будівництві, де останнім часом особливої по-

пулярності набуло зведення будинків монолітно-каркасного типу, що в свою чергу, висуває певні вимоги до будівельно-технічних властивостей в'язучих речовин та бетонів на їх основі.